

FORUM GEOGRAFI



JURNAL PENELITIAN GEOGRAFI

Vol. 25 No. 2 Desember 2011

GENESIS PEDON TANAH YANG BERKEMBANG DI ATAS BATUAN
KARBONATWONOSARI GUNUNGKIDUL

Djoko Mulyanto, Subroto, dan Herwin Lukito

FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP PENGAMBILAN
KEPUTUSAN WANITA MIGRAN BERMIGRASI KE KOTA MALANG

Budijanto

PERSEBARAN PENDUDUK YANG TIDAK MEMILIKI DOKUMEN
KEPENDUDUKAN

Irdam Ahmad

PENGUNAAN CITRA SATELIT UNTUK KAJIAN PERKEMBANGAN
KAWASAN PERMUKIMAN DI KOTA SEMARANG

Bitta Pigawati dan Iwan Rudiarto

APLIKASI PJ DAN SIG DALAM PENILAIAN POTENSI EROSI KUALITATIF DI
DAERAHTANGKAPANWADUK KEDUNG OMBO

Arina Miardini dan Beny Harjadi

KEBUTUHAN LUASAN HUTAN KOTA SEBAGAI ROSOT (SINK) GAS CO₂
UNTUK MENGANTISIPASI PENURUNAN LUASAN RUANG TERBUKA HIJAU
KOTA BOGOR

Endes N Dachlan

APLIKASI ESDA UNTUK STUDI VARIABILITAS SPATIAL HUJAN BULANAN DI
JAWA TIMUR

Indarto

IDENTIFIKASI MEDAN UNTUK KETERLINTASAN REL KERETA API ANTARA
GUNDIH-KARANGSONO KABUPATEN GROBOGAN

Imam Hardjono

Terakreditasi Berdasarkan Surat Keputusan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional
Nomor: 51/DIKTI/Kep/2010 per 5 Juli 2010

Vol. 25, No. 2, Desember 2011

ISSN 0852-0682



Ketua Penyunting:

Drs. Yuli Priyana, M.Si.

Wakil Ketua Penyunting:

Agus Anggoro Sigit, S.Si., M. Sc.

Dewan Penyunting:

Dr. Ir. Imam Hardjono, M.Si.

Drs. Kuswaji Dwi-Priyono, M. Si.

Dra. Alif Noor Anna, M. Si.

Drs. Priyono, M. Si.

Jumadi, S.Si.

Distribusi dan Pemasaran:

Agus Anggoro Sigit, S.Si., M. Sc.

Kesekretariatan:

Jumadi, S.Si.

Periode Terbit: Juli dan Desember

Terbit Pertama: Juli 1987

Cetak Sekali Terbit: 400 exp

Alamat Redaksi:

Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Surakarta 57102, Telp (0271) 717417 Psw 151-153,
Fax: (0271) 715448, E-mail: forumgeografi.ums@gmail.com

DAFTAR ISI

GENESIS PEDON TANAH YANG BERKEMBANG DI ATAS BATUAN
KARBONAT WONOSARI GUNUNGKIDUL

Djoko Mulyanto, Subroto, dan Herwin Lukito 100 - 115

FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP PENGAMBILAN
KEPUTUSAN WANITA MIGRAN BERMIGRASI KE KOTA MALANG

Budijanto 116 - 129

PERSEBARAN PENDUDUK YANG TIDAK MEMILIKI DOKUMEN
KEPENDUDUKAN

Irdam Ahmad 130 - 139

PENGUNAAN CITRA SATELIT UNTUK KAJIAN PERKEMBANGAN
KAWASAN PERMUKIMAN DI KOTA SEMARANG

Bitta Pigawati dan Iwan Rudiarto 140 - 151

APLIKASI PJ DAN SIG DALAM PENILAIAN POTENSI EROSI KUALITATIF
DI DAERAH TANGKAPAN WADUK KEDUNG OMBO

Arina Miardini dan Beny Harjadi 152 - 163

KEBUTUHAN LUASAN HUTAN KOTA SEBAGAI ROSOT (SINK) GAS CO₂
UNTUK MENGANTISIPASI PENURUNAN LUASAN RUANG TERBUKA
HIJAU KOTA BOGOR

Endes N Dachlan 164 - 177

APLIKASI ESDA UNTUK STUDI VARIABILITAS SPATIAL HUJAN BULANAN
DI JAWA TIMUR

Indarto 178 - 193

IDENTIFIKASI MEDAN UNTUK KETERLINTASAN REL KERETA API
ANTARA GUNDIH-KARANGSONO KABUPATEN GROBOGAN

Imam Hardjono 194 - 200

Biodata Penulis 201 - 202

Indeks Penulis 203

Indeks Subjek 204

GENESIS PEDON TANAH YANG BERKEMBANG DI ATAS BATUAN KARBONAT WONOSARI GUNUNGKIDUL

Genesis of Two Pedons Developed on Carbonaceous Rock of Wonosari Gunungkidul

Djoko Mulyanto*), Subroto PS*), dan Herwin Lukito**)

*) Prodi Agrotek Faperta; **) Prodi Tekling FTM

UPNV, Yogyakarta

E-mail: j.mulyanto@yahoo.com

ABSTRACT

The variation of soil color that developed on carbonate rocks which are generally white, very interesting to be studied. The aim of the study is to examine the formation of two pedons of black soil and red soil by hue 10 YR and hue 5 to 2.5 YR which successively developed on marly limestones and calcarenite. Analysis of mineral properties consist of the total minerals of sand fraction, clay fraction and rock powders. Soil chemical properties include: pH, organic C, exchangeable cations and cation exchange capacity, CaCO_3 , the amorphous-crystalline of Fe and Mn, the total of Fe and Mn, the analysis of physical properties is the texture of seven fractions. The results showed that the development of the red soil is much more developed than black soil that shown by intensively decalcification process of red soil that impact on the low of pH, base saturation and cation exchange capacity, whereas the development of black soil is inhibited. The formation of black soil is more inherited of clay bearing marly limestone after carbonate dissolution, whereas the red soil development through rubification and illuviation.

Keywords: carbonaceous rock, soil development, red soil, black soil, decalcification, rubification

ABSTRAK

Keragaman warna tanah yang berkembang pada batuan karbonat yang secara umum berwarna putih sangat menarik untuk dikaji. Tujuan penelitian ini adalah menelaah pembentukan dua pedon tanah yang berwarna hitam dengan hue 10 YR dan merah dengan hue 5 – 2,5 YR yang secara berturut-turut berkembang pada batugamping napalan dan batugamping pasir. Analisis sifat mineral meliputi: mineral total fraksi pasir, fraksi lempung tanah, bubuk batuan. Sifat kimia tanah meliputi: pH, C organik, basa-basa tertukar, kapasitas pertukaran kation, CaCO_3 setara, (Fe, Mn) bentuk amorf dan kristalin, (Fe, Mn) total, dan analisis sifat fisik berupa tekstur 7 fraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan tanah merah jauh lebih lanjut dibanding tanah hitam yang ditunjukkan oleh proses dekalsifikasi intensif yang berdampak pada rendahnya nilai pH, kejenuhan basa dan KPK, sedangkan perkembangan tanah hitam terhambat. Pembentukan tanah hitam lebih bersifat terwariskan (inherited) dari lempung yang terkandung napal setelah pelarutan CaCO_3 , sedangkan pembentukan tanah merah melalui illuviasi dan rubifikasi.

Kata kunci: batuan karbonat, pembentukan tanah, tanah merah, tanah hitam, dekalsifikasi, rubifikasi

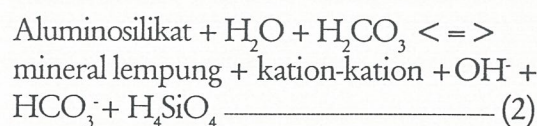
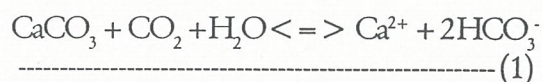
PENDAHULUAN

Warna tanah merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam menginterpretasikan sifat-sifat tanah (Mulyanto *et.al.*, 2006). Oksida-oksida dan hidroksida besi dan mangan merupakan pigmen warna tanah yang sangat kuat (Schwermant dan Fanning, 1976). Ditambahkan oleh Notohadiprawiro (2000) bahwa warna tanah selain dipengaruhi oleh kedua persenyawaan tersebut juga dipengaruhi oleh bahan organik yang terhumifikasi serta komposisi mineralnya. Komposisi mineral dalam tanah akan berubah sejalan dengan proses pedogenesis yang dialami tanah. Dalam pembentukan tanah terjadi proses alih rupa (*transformation*) bahan/ mineral primer menjadi mineral sekunder dan zat-zat terlarut, serta alih tempat (*translocation*) bahan-bahan hasil pelapukan yang didistribusikan ke lain tempat dalam tubuh tanah untuk membentuk horizon-horizon. Proses alih rupa dan alih tempat sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan pewatakan bahan induknya.

Pembentukan tanah-tanah di atas batuan karbonat sampai kini masih menarik untuk dikaji. Ada dua hipotesis tentang asal bahan tanah yang berkembang di atas batuan karbonat. Pendapat pertama yang dikenal dengan "*Residual Theory*" menyakini bahwa tanah-tanah merah di lingkungan batuan karbonat merupakan hasil pelarutan batugamping, akumulasi dan transformasi residu batugamping tersebut (Gal, 1967; Moresi dan Mongelli, 1988; Bronger dan Bruhn-Lobin, 1997; dalam Jordan *et.al.*, 2004). Mineral albit, mikrolin, dan orthoklas sering terdapat pada batugamping dan dolomit dari segala umur (Tester dan Atwater, 1934; Honess dan Jeffries, 1940; Stringham, 1940; van Straaten, 1948 dalam Pettijohn, 1975).

Berdasarkan hal di atas kiranya perlu juga dipertimbangkan asal dari mineral-mineral lempung pada *Terra Rossa* yang boleh jadi merupakan hasil pelapukan mineral-mineral tersebut. Hipotesis yang lain menyatakan bahwa bahan induk tanah tidak ada hubungannya dengan batuan yang membawahnya melainkan berasal dari tempat lain (*allochthonous material*). Yaalon (1997) mengatakan bahwa debu eolin merupakan bahan induk tanah-tanah merah di wilayah Mediterania.

Proses pelapukan kimia pada batugamping bila dicermati terjadi pelarutan yang menyeluruh (*congruent dissolution*) bila dibandingkan dengan pelapukan pada aluminosilikat yang bersifat tidak menyeluruh (*incongruent dissolution*) (Birkeland, 1984). Gamping akan larut dan menghasilkan ion kalsium dan bikarbonat yang keduanya larut dalam air, sehingga peka terhadap pelindian sedangkan aluminosilikat menghasilkan kation-kation larut air dan mineral lempung yang tidak larut. Reaksi tersebut dapat dilukiskan sebagai berikut :



Dari reaksi tersebut terlihat bahwa tanah yang terbentuk dari bahan gampingan sangat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah pengotornya. Bila batugamping sebagai bahan induk tanah, tentunya telah dibutuhkan bahan dengan volume yang sangat besar. MacLeod, 1980 dalam Foster *et.al.*, 2004) menghitung kebutuhan 40 cm tanah yakni diperlukan 130 m batugamping, selanjutnya diduga bahwa residu yang terlepas dari batugamping selama denudasi harus terakumulasi dengan laju

8×10^{-6} cm selama 5×10^6 tahun. Sebelumnya Yaalon dan Ganor's, 1975; dalam Foster *et.al.*, 2004) telah menghitung kecepatan denudasi batugamping untuk 1-2 cm yakni per 10^3 tahun. Hal tersebut tentunya sangat dipengaruhi oleh jumlah air sebagai pelaku proses utama pelarutan dan tentunya sangat berbeda dengan lingkungan karst beriklim tropis khususnya di Indonesia (Gunungkidul). Fenomena tersebut tentunya juga sangat berbeda dengan bahan yang berasal dari mineral silikat karena sumbangan unsur Si dan Al sebagai kerangka tanah sangat melimpah.

Tanah-tanah yang berkembang pada batuan karbonat menurut White (1988) mempunyai dua kenampakan yang dapat dibedakan dari tanah-tanah yang terbentuk dari bahan induk lain, yakni sebagian besar batuan dasar hilang dalam larutan, tanah yang terbentuk merupakan residu batuan. Tanah-tanah berdrainase baik yang terbentuk dari bahan gampingan, sering mempunyai sifat masam (*acidic sola*) yang disebabkan oleh pengaruh air infiltrasi yang berikatan dengan asam lemah. Kedalaman pelindian pada tanah-tanah tersebut secara umum merupakan fungsi dari kandungan karbonat, kimia air (pH), dan jumlah secara kumulatif dari air yang terinfiltrasikan (Schaetzl *et.al.*, 1996). Wooding dan Robinson (1951) menduga bahwa pencucian dan penghilangan basa-basa merupakan proses yang penting dalam perkembangan tanah-tanah merah di atas batugamping. Pengembalian kalsium pada profil tanah melalui evaporasi dan gangguan pencucian oleh lambatnya permeabilitas gamping lunak merupakan faktor-faktor utama yang mencegah perkembangan dan kematangan tanah (Tarzi *et.al.*, 1974). Banyak studi menyatakan secara tidak langsung atau berpostulasi bahwa bila tanah berkembang dari bahan gampingan, karbonat harus

dihilangkan lebih dulu untuk mobilisasi lempung (Bartelli dan Odell, 1960; Arnold, 1965; Culver dan Gray, 1968; Buol dan Yesilsoy, 1964; dalam Levine *et.al.*, 1989).

Dalam sejarah geologi daerah Pegunungan Selatan Pulau Jawa, wilayah tersebut telah mengalami kenaikan dan penurunan permukaan air laut (Rahardjo, 2005), maka adanya sortasi bahan klastis dari daerah yang lebih tinggi sewaktu di bawah permukaan laut sangat memungkinkan. Gunung-gunung api purba tentunya juga menyumbang material vulkanik pada saat sintesis batugamping di bawah permukaan laut. Dalam kaitannya dengan pernyataan di atas, Surono *et.al.* (1992) mengatakan bahwa batugamping Formasi Wonosari pada beberapa tempat menunjukkan adanya sisipan tuff. Menurut penulis sisipan-sisipan tuff tadi juga dapat berperan sebagai bahan induk tanah. Disamping itu secara regional banyak gunung-gunung api yang tidak mustahil telah menyumbangkan materialnya sebagai bahan induk tanah di daerah pegunungan selatan. Mulyanto *et.al.* (2000) juga telah menunjukkan adanya material vulkanik yang sangat melimpah pada fraksi pasir Andisol di kawasan karst Bedoyo, Ponjong. Tujuan penelitian ini adalah mengaji pembentukan dua pedon tanah di atas batuan karbonat yang secara morfologi mempunyai sifat warna yang sangat kontras.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian adalah dua buah profil tanah. Profil tanah hitam (Hue 10 YR) di Desa Duwet-Mulo, sedangkan profil tanah merah (Hue 5 YR-2,5 YR) di Desa Karangrejek Kecamatan Wonosari, serta batuan karbonat yang membawahi kedua profil tanah tersebut. Alat lapangan yang digunakan yakni kartu warna tanah

Munsell, altimeter dan klinometer. Analisis laboratorium meliputi sifat-sifat batuan dan tanah. Sifat kimia meliputi: pH H_2O menggunakan Metode Potensiometrik, kadar $CaCO_3$ setara secara gravimetri dengan menggunakan kalsimeter, C-organik dengan destruksi basah, kapasitas penukaran kation (KPK) dan kation tertukarkan (Ca, Mg, K, dan Na) dilakukan dengan ekstraksi NH_4OAc pH 7. Bentuk-bentuk oksida Fe dan Mn menggunakan pelarutan selektif, sedangkan Fe dan Mn total menggunakan ekstraksi asam fluorida (HF) dan HNO_3 pekat. Ekstraksi untuk pelarutan selektif dilakukan terhadap bagian contoh tanah (*sub sample*) secara terpisah dari contoh yang sama.

Ada tiga metode ekstraksi yang dilaksanakan dalam pelarutan selektif: 1). 0,1 natrium pirofosfat (Blakemore *et.al.*, 1987), 2). 0,2 M ammonium oksalat pH 3,0 Metode Tamm, 1922 (*dalam* Blakemore *et.al.*, 1987), dan 3). Na-ditionit sitrat pH 7,3 (Mehra dan Jackson, 1960 *dalam* Blakemore *et.al.*, 1987). Aplikasi analisis pelarutan selektif yang dilakukan adalah sebagai berikut: ekstraksi pirofosfat menggambarkan Fe dan Mn yang berikatan dengan C-organik, ekstraksi oksalat untuk mendapatkan oksida-oksida besi non kristalin (*poorly crystalline*) dan yang berikatan dengan C-organik, sedangkan ekstraksi ditionit untuk mendapatkan oksida-oksida besi kristalin ditambah fraksi yang terekstrak oleh ekstraksi oksalat (McKeague and Day, 1966; McKeague *et.al.*, 1971a) (*dalam* Ogunsola *et.al.*, 1989). Kekuatan ekstrak adalah : asam kuat > ditionit > oksalat > pirofosfat. Berdasarkan urutan kekuatan ekstraksi tersebut maka diasumsikan bahwa : (Fe, Mn) ekstrak oksalat - (Fe, Mn) ekstrak pirofosfat = oksida-oksida (Fe, Mn) bebas yang bersifat amorf, sedangkan (Fe, Mn) ditionit - (Fe,

Mn) oksalat = oksida-oksida (Fe, Mn) bebas yang bersifat kristalin.

Tekstur (7 fraksi) dengan Metode Pemipetan yang agihan ukuran pasir meliputi 5 fraksi dengan pengayaan. Analisis mineral tanah fraksi lempung dengan 4 perlakuan (penjenuhan Mg, Mg+gliserol, K dan K+550°C) menggunakan XRD, sedangkan fraksi pasir dengan Metode Line Counting. Komposisi mineral batuan berdasarkan hasil interpretasi sayatan tipis menggunakan mikroskop binokuler dengan perbesaran 40x, dan bubuk (*powder*) batuan dengan XRD.

Lokasi contoh profil tanah hitam dan tanah merah secara berturut-turut di Desa Karangsari dan Duwet (lihat Gambar 1).

HASIL DAN PEMBAHASAN

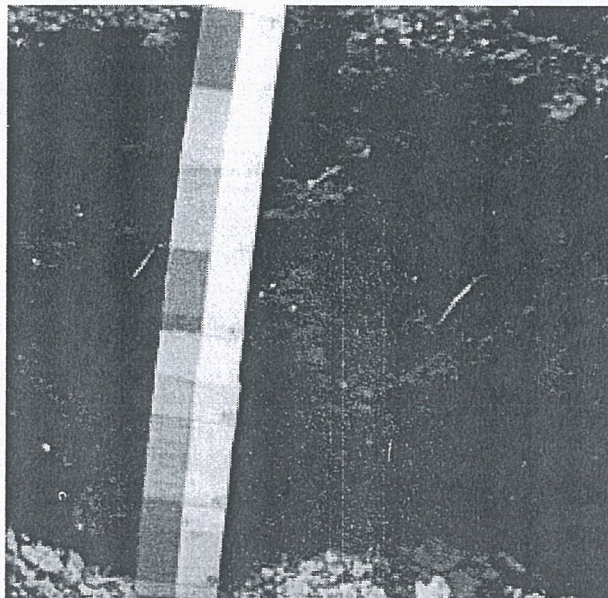
Hasil

Profil tanah hitam (Hue 10 YR) seperti yang terlihat pada Gambar 2, terletak di Desa Duwet, ketinggian tempat 170 m dpl. Permukaan tanah dicirikan oleh adanya retakan-retakan dengan tebal 4,5 – 5 cm sedalam 29 cm, terdiri atas 5 lapisan. Secara umum berwarna abu-abu gelap dengan chroma sangat rendah (1-2), tekstur lempung berat, struktur gumpal menyudut, konsistensi sangat lekat/ liat pada kondisi basah, lunak (lembab), dan sangat keras pada keadaan kering, terdapat becak-becak Fe warna coklat kemerahan gelap-coklat kemerahan (5 YR 3/3-3/4) jumlah sangat sedikit pada lapisan dua dan tiga. Cermin sesar ditemui pada lapisan empat, sedangkan konkresi Mn dijumpai pada setiap lapisan dengan jumlah sedikit. Lapisan lima merupakan campuran tanah dengan bahan gampingan, warna abu-abu terang kecoklatan (10 YR 6/2), geluh pasir, gumpal menyudut-membulat-



Sumber: data primer

Gambar 1. Lokasi Pedon Tanah Hitam dan Pedon Tanah Merah



Sumber: data primer

Gambar 2. Profil Tanah Hitam, Hue 10 YR

tebal, lunak (lembab)-sangat lekat/liat (basah) dan sangat keras bila kering, kongresi Fe cukup tinggi-kongresi Mn sangat sedikit, beralih ke batugamping napalan, warna putih.

Ciri khusus pada tanah hitam adalah adanya retakan yang cukup lebar dan dalam yakni > 25 cm, serta agregat tanah yang sangat keras pada saat kering, di tanah bawahan terdapat cermin sesar dan struktur baji. Hasil analisis morfologi, sifat

fisik dan kimia profil tanah hitam tertera pada Tabel 1 dan 2.

Berdasarkan sebaran ukuran butir, diduga bahwa pada profil tanah hitam terdapat stratifikasi bahan induk tanah dengan material halus, hal tersebut dapat dicermati dari perbedaan kadar fraksi lempung dan debu, serta distribusi pasir halus, pasir kasar dan pasir sangat kasar yang cukup mencolok pada lapisan tiga. Kenaikan kadar C organik pada lapisan tiga yang

Tabel 1. Sifat Fisik Tanah pada Profil Tanah Hitam

Jeluk (cm)	Hori- son	Sebaran ukuran butir								Jenis mineral
		L	D	PSH	PH	PS	PK	PSK	PT	
		μ m		mm						
		≤ 2	20-50	0,05-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-2	0,05-2	
%										
0 – 18/20	Ap	90,2	6,2	0,9	1,4	0,4	0,7	0,3	3,7	
18/20 – 35/37	A ₁₁	88,4	8,5	0,9	1,1	0,4	0,6	0,1	3,1	
35/37 – 50/53	A ₁₂	94,5	0,4	0,7	0,8	0,6	1,6	1,3	5,0	
50/53 – 64/69	A ₁₃	93,1	0,8	0,7	1,0	0,7	1,7	2,1	6,1	smektit (++++)
64/69 – 73/75	AC	93,5	4,3	0,5	0,7	0,3	0,4	0,3	2,2	kaolinit (++)

Sumber: hasil analisis

Tabel 2. Sifat Kimia Tanah pada Profil Tanah Hitam

Jeluk (cm)	Warna	pH	C	CaCO ₃	Ca	Mg	K	Na	ΣK	KPK NH ₄ O Ac. pH 7	V
NH ₄ OAc. pH 7											
				%	Cmol (+).kg ⁻¹						%
0	-	10YR3/	6,7	1,4	1,75	4,1	0,1	0,34	40,59	34,92	100
18/20		1	5	1		6	7				
18/20	-	10YR4/	6,9	0,3	0,92	3,5	0,1	0,31	41,38	36,89	100
35/37		1	4	6		2					
35/37	-	10YR4/	7,1	1,0	1,74	3,3	0,1	0,3	42,76	41,88	100
50/53		1	7	8		1					
50/53	-	10YR3/	7,2	0,9	1,19	3,1	0,1	0,31	42,19	53,23	79
64/69		2	7	0		9					
64/69	-	10YR	8,0	0,8	44,52	1,6	0,0	0,18	40,4	24,7	100
73/75		6/2	5	5		6	9				

Sumber: hasil analisis

Keterangan :

L = lempung D = debu P = pasir SH = pasir sangat halus
 PS = pasir sedang PK = pasir kasar PSK = pasir sangat kasar
 PT = pasir total V = kejenuhan basa PH = pasir halus

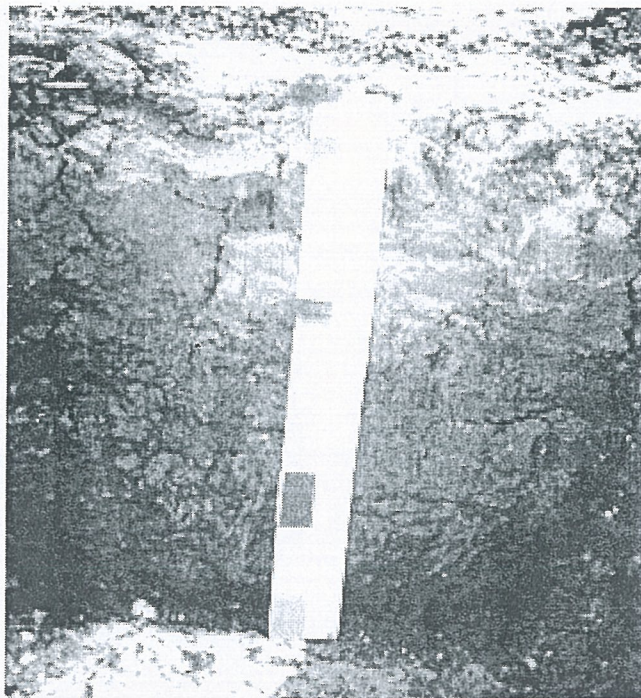
sangat mencolok dibanding lapisan di atasnya juga dapat menunjukkan adanya stratifikasi bahan induk. Nilai pH menunjukkan netral – basis, meningkat ke arah batugamping yang sejalan dengan peningkatan konsentrasi CaCO_3 . Sifat yang sangat menonjol adalah kadar kalsium tertukar yang sangat tinggi serta nilai KPK yang tinggi, kecuali pada lapisan lima. Nilai KPK yang tinggi diduga karena didominasi oleh lempung smektit sebagaimana pada lapisan empat.

Berdasarkan interpretasi morfologi profil, sifat fisik, kimia dan mineralogi tanah maka nama seri tanah hitam menurut Soil Taxonomy (1998) adalah: *Leptic Haplusterts, clay, smectitic, isohypertermic*, Duwet.

Profil tanah merah (Hue 5 YR – 2,5 YR) seperti terlihat pada Gambar 3, terletak di Desa Karangrejek, ketinggian tempat 160

m dpl., di sekitar profil terdapat banyak retakan-retakan/ bekas retakan batuan yang telah tertutup oleh batugamping sekunder. Warna merah kekuningan (5 YR 4/6) sampai merah kecoklatan (2,5 YR $\frac{3}{4}$), tekstur lempung, struktur gumpal menyudut-membulat pada lapisan satu sedangkan lapisan dua-lapisan tujuh berstruktur lempeng. Semua lapisan bertekstur lempung dan berkonsistensi teguh (lembab), sangat liat/ lekat (basah) dan keras bila kondisi kering, terdapat konkresi Fe dan Mn pada semua lapisan dengan konsentrasi sangat sedikit, namun pada lapisan enam dan tujuh mempunyai becak Mn sangat tinggi. Lapisan tujuh menumpang secara langsung pada batu gamping berwarna putih.

Profil tanah B memperlihatkan warna kemerahan, di permukaan tanah juga memperlihatkan retakan namun sangat



Sumber: data primer

Gambar 3. Profil Tanah Merah di Karangrejek
(Hue 5YR-2,5 YR)

sempit dan dangkal, sangat berbeda dengan lokasi pada tanah hitam. Bentang lahan bergelombang – landai. Hasil analisis morfologi, sifat fisik dan kimia profil tanah merah tertera pada Tabel 3 dan 4.

Kadar lempung sangat tinggi sebagaimana tanah hitam yakni > 90 %. Profil tersebut juga menunjukkan perbedaan kadar debu yang sangat mencolok pada lapisan lima, demikian juga ada peningkatan C-organik

Tabel 3. Hasil Analisis Sifat-Sifat Fisik Tanah Merah

Jeluk (cm)	Hori- son	Sebaran besar butir								Jenis lempung
		L	D	PSH	PH	PS	PK	PSK	PT	
		μm		mm						
		≤ 2	20-50	0,05-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1	1,0-2,0	0,05-2	
%										
0-13/15	Ap	92,7	3,4	1,0	1,4	0,2	0,6	0,7	3,9	Kaolinit (++++)
13/15-22/23	A ₁₂	92,8	3,2	1,1	1,0	0,3	0,8	0,8	4,0	
22/23-32/35	B ₁₁	93,9	2,9	0,9	0,7	0,2	0,6	0,7	3,2	
32/35-47/49	B ₁₂	96,3	0,9	0,8	0,5	0,2	0,7	0,5	2,7	
47/49-59/62	B ₁₃	90,7	7,1	0,8	0,6	0,2	0,3	0,3	2,2	Kaolinit (++++)
59/62-71/74	B ₁₄ t	97,4	0,2	0,8	0,7	0,2	0,3	0,4	2,4	
71/74-83	B ₁₅ t	94,0	4,0	0,6	0,6	0,2	0,3	0,3	2,0	

Sumber: hasil analisis

Tabel 4. Hasil Analisis Sifat-Sifat Kimia Tanah Merah

Jeluk (cm)	Warna	Sifat-sifat kimia tanah									
		pH	C	CaCO ₃	Ca	Mg	K	Na	ΣK	KPK	V
		NH ₄ OAc. pH 7					NH ₄ OA c. pH 7				
		%			Cmol (+).kg ⁻¹					%	
0 -	5YR3/4	6,5	0,9	0,7	15,95	0,3	0,0	0,1	16,5	23,36	71
13/15		8	8			9	7	8	9		
13/15 -	5YR4/6	5,8	1,5	0,44	13,75	2,2	0,0	0,1	16,2	22,30	73
22/23		7	6			1	9	5	5		
22/23 -	5YR4/6-	5,9	1,0	0,89	13,23	1,3	0,0	0,1	14,7	20,35	72
32/35	2,5YR3/4	1	1			2	5	5	5		
32/35 -	5YR4/6	5,9	0,9	0,60	13,21	0,9	0,0	0,2	14,4	21,21	68
47/49		4	3			5	7	2	5		
47/49 -	2,5YR3/4	6,0	1,3	1,58	13,13	0,7	0,0	0,2	14,1	21,58	65
59/62		4	5			2	5	0,2	14,0		
59/62 -	5YR4/4-	6,0	0,9	0,43	13,18	0,6	0,0	0,2	14,0	20,97	67
71/74	5YR3/4	5	3			4	7	0,2	9		
71/74 - 83	5YR3/4	-	6,0	0,60	13,13	0,4	0,0	0,1	13,6	23,33	59
	2,5YR3/4	5	3			7	7	9	6		

Sumber: hasil analisis

Keterangan :

L = lempung D = debu P = pasir SH = pasir sangat alus
 PS = pasir sedang PK = pasir kasar PSK = pasir sangat kasar
 PT = pasir total V = kejenuhan basa PH = pasir halus

yang sangat tajam pada lapisan yang sama. Kedua hal tersebut dapat menunjukkan adanya stratifikasi material yang berbeda sebagai bahan induk tanah. Nilai pH agak masam, kadar kapur dan Ca tertukar rendah demikian juga KPK. Keempat parameter tersebut sangat berbeda dengan profil tanah hitam. Rendahnya nilai KPK tanah sangat terkait dengan jenis lempung kaolinit yang sangat dominan di profil tanah merah.

Berdasarkan interpretasi morfologi profil, sifat fisik, kimia dan mineralogi tanah maka nama tanah merah menurut Soil Taxonomy (1998) adalah: *Typic Haplustalfs, clay, kaolinitic, isohypertermic*, Karangrejek.

Pembahasan

Morfologi Tanah

Tanah hitam memiliki kadar Mn baik yang bersifat amorf maupun kristalin jauh lebih tinggi dibanding tanah merah, dan sebaliknya terhadap per-senyawaan besi, tanah merah memiliki kadar yang jauh lebih tinggi (lihat Tabel 4). Fenomena tersebut yang menyebabkan tanah A berwarna hitam sedang tanah B berwarna merah. Oksida-oksida Mn sangat berperan sebagai pigmen warna hitam dan oksida-oksida Fe sebagai pigmen warna merah (Schwertmann dan Fanning, 1976; Mulyanto *et.al.*, 2006). Mulyanto dan Surono (2009) mengatakan bahwa gejala kewarnaan tanah pada batuan karbonat tidak terkait dengan kadar Fe dan Mn batuan melainkan sangat dipengaruhi oleh proses genesis tanah khususnya kecepatan pelindian hasil-hasil pelapukan/ pelarutan batuan, bila pelindian intensif maka secara relatif terjadi akumulasi oksida-oksida besi khususnya hematit yang menyebabkan pemerahan tanah. Warna kelam pada tanah hitam sejalan dengan nilai chroma yang rendah (1-2) dibanding tanah merah (4-6), hal ini juga disebabkan oleh jenis mineral

lempung yang mendominasi pada tanah hitam yakni smektit khususnya monmorillonit sedang tanah merah kaolinit. Menurut Bohn *et.al.* (1979) monmorillonit memiliki luas permukaan spesifik 600-800 m²/gram, sedangkan kaolinit 10-20 m²/gram. Tingginya luas permukaan spesifik menyebabkan monmorillonit menyerap air jauh lebih besar sehingga suasana tanah lebih reduktif yang dapat memunculkan kesan kelam. Fenomena retakan-retakan yang cukup lebar dan dalam pada tanah hitam menyakinkan bahwa tanah tersebut didominasi lempung monmorillonit (Tabel 1). Tanah hitam tidak mempunyai horison B, hal ini karena pedoturbasi yang disebabkan oleh lempung monmorillonit, sehingga proses argilasi jadi terganggu. Tanah merah mempunyai horison argilik yang dapat dilihat dengan melimpahnya selaput lempung (*cutan*) pada tubuh tanah. Menurut Steila (1978) dari aspek genesis lempung silikat, monmorillonit masih pada tahap medium sedangkan kaolinit sudah mencapai tahap lanjut, maka tanah merah jauh berkembang dibandingkan tanah hitam.

Sifat Kimia Tanah

Perbedaan nilai pH kedua macam tanah, sangat terkait dengan kecepatan proses dekalsifikasi yang terjadi. Dekalsifikasi tanah hitam terhambat yang ditunjukkan oleh kadar CaCO₃ setara dan kalsium tertukar jauh lebih tinggi dibanding tanah merah, hal ini berdampak pada penurunan nilai pH pada tanah merah yang berstatus agak masam dan kejenuhan basa yang lebih rendah dibandingkan tanah hitam. Terhambatnya dekalsifikasi pada tanah hitam sangat boleh jadi oleh sifat batuan yang membawahi tanah tersebut. Batu-gamping napalan mengandung lempung smektit (lihat Tabel 3) dalam jumlah yang signifikan, demikian juga pada profil tanah

khususnya lapisan empat yang sangat melimpah.

Sifat lempung monmorillonit yang dapat mengembang bila dalam kondisi basah, menyebabkan tertutupnya pori-pori batuan (Levin *et.al.*, 1989), sehingga mengganggu perkolasi dan alihtempat bahan-bahan hasil pelarutan. Hambatan laju penyingkiran bahan-bahan hasil pelapukan mineral dan pelarutan batuan menyebabkan suasana lingkungan pelapukan kaya basa-basa khususnya Mg dan kaya Si serta suasana pH yang cukup tinggi. Hal ini menyebabkan terbentuknya mineral lempung tipe 2:1 khususnya monmorillonit (Wambeke, 1992). Jenny (1980) mengatakan bahwa batuan karbonat yang banyak mengandung pengotor atau tingkat kemurniannya rendah, lebih sulit mengalami proses pelarutan dan cenderung mengalami pengayaan basa-basa pada tanah yang terbentuk.

Lempung smektit yang merajai tanah hitam tersebut mungkin berasal dari bahan induk yang terwariskan (*inherited*) pada sifat tanah yang terbentuk atau oleh genesis pada kondisi lingkungan pelindian yang terhambat. Sifat pewarisan bahan induk batuan sedimen pada tanah yang terbentuk telah banyak disampaikan oleh peneliti-peneliti terdahulu antara lain Prasetyo *et.al.*, 1998, Mulyanto *et.al.* 2001 dan Prasetyo, 2009. Nilai KPK tanah hitam dua kali lipat KPK tanah merah padahal kadar lempung dan C organik kedua tanah relatif sama, sehingga diyakini bahwa tingginya nilai KPK tanah hitam karena jenis lempungnya yakni smektit khususnya monmorillonit. Nisbah Fek/ % lempung dengan fungsi jeluk pada tanah hitam menurun yang menunjukkan tidak terjadinya distribusi yang menyeluruh ke tubuh tanah. Hal tersebut dapat disebabkan oleh pedoturbasi yang melawan proses eluviasi lempung. Pada tanah merah nisbah Fek/ % lempung

dengan fungsi jeluk relatif seragam, menurut Durn *et.al.* (2001) hal tersebut menunjukkan adanya gerakan oksida-oksida besi bersama illuviasi lempung. Pada pembentukan tanah merah di lingkungan batugamping terjadi rubifikasi di horison atas kemudian material yang mengalami proses rubifikasi (pemerahan) bergerak ke bawah (Fedoroff, 1997).

Mineralogi Tanah

Bila mencermati kadar mineral total fraksi pasir (Tabel 3) pada tanah hitam menunjukkan kadar kuarsa jauh lebih tinggi dibanding tanah merah demikian pula pada mineral labradorit. Mineral kuarsa mempunyai kepekaan yang jauh lebih rendah dibanding labradorit sehingga lebih tahan terhadap pelapukan. Bila hanya melihat kadar kuarsa maka bisa dikatakan bahwa tanah hitam telah mengalami tingkat pelapukan yang lebih lanjut dibanding tanah merah, namun bila mencermati parameter-parameter kimia khususnya pH, Ca tertukar dan jumlah kation-kation basa serta kadar labradorit, maka tanah merah jauh lebih berkembang dibanding tanah hitam, sehingga bisa dikatakan bahwa bahan induk kedua tanah berbeda atau mempunyai komposisi mineral yang berbeda. Analisis XRD pada bubuk batuan menunjukkan adanya lempung smektit pada batuan tanah hitam, sedangkan pada batuan tanah merah tidak menunjukkan adanya mineral lempung (Tabel 3). Analisis fraksi lempung tanah dengan XRD tanah hitam mengandung smektit dalam jumlah sangat melimpah dan kaolinit yang cukup signifikan (lapisan empat), sedangkan tanah merah hanya mengandung kaolinit yang sangat melimpah.

Berdasarkan data komposisi mineral baik fraksi pasir maupun lempung serta bubuk batuan, diduga bahwa proses genesis tanah hitam lebih bersifat terwariskan (*inherited*)

Genesis Pedon Tanah ... (Mulyanto)

Sumber: hasil analisis

K = kalsit Kwk = kuarsa keruh Lb = labradorit KK = konkresi kapur Fp = feldspar
 Au= augit Kw b = kuarsa bening Bw= bitownit Gv = gelas volkanik H = haloisit
 Hfp = hipersten Hlb = hornblende K+D = kalsit+dolomite Kr = kristobalit Kao = kaolinit
 MM = magnetit-maghemit Sm = smektit A/R = batugamping napalan B/R = batugamping pasiran

Tabel 6. Hasil Analisis Spesifik Fe dan Mn Contoh Tanah Hitam dan Tanah Merah

Kode/ Lapisan	Mn-p	Mn-o	Mn-d	Mn-A	Mn-K	Mnd/ Mno	Mnk/ Mna	Mn total	Fe-p	Fe-o	Fe-d	Fe-a	Fe-k	Fed/ Feo	Fek/ Fea	Fe total	Fek/ %lp	%	
																		%	%
Tanah A/hitam																			
A/ II	0.01	0.44	0.58	0.43	0.14	1.32	0.33	0.6	0.21	1.08	2.81	0.87	1.73	2.60	1.99	8.28	0.02		
A/ IV	0	0.65	0.98	0.65	0.33	1.51	0.51	1	0.37	0.92	2.23	0.55	1.31	2.42	2.38	8.68	0.01		
A/ V	0	0.11	0.18	0.11	0.07	1.64	0.64	0.2	0.03	0.37	1.77	0.34	1.4	4.78	4.12	4.22	0.01		
Tanah B/merah																			
B/ II	0.01	0.1	0.14	0.09	0.04	1.40	0.44	0.16	0.03	1.08	3.12	1.05	2.04	2.89	1.94	9.38	0.02		
B/ IV	0	0.11	0.12	0.11	0.01	1.09	0.09	0.14	0.03	1.16	3.21	1.13	2.05	2.77	1.81	8	0.02		
B/ VI	0	0.1	0.12	0.1	0.02	1.20	0.20	0.14	0.02	1.12	3.36	1.1	2.24	3.00	2.04	7.33	0.02		

Sumber: hasil analisis

Keterangan :

Mn (p, o, d) = Mn ekstrak pirofosfat, oksalat dan ditionit

Mn-a = Mn amorf (Mn-o - Mn-p)

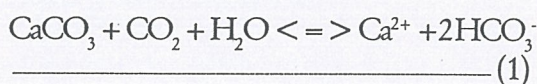
Mn-k = Mn kristalin (Mn-d - Mn-o)

Fe (p, o, d) = Fe ekstrak pirofosfat, oksalat dan ditionit

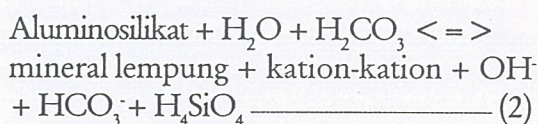
Fe-a = Fe amorf (Fe-o - Fe-p)

Fe-k = Fe kristalin (Mn-d - Mn-o)

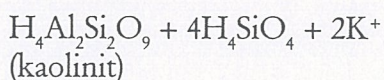
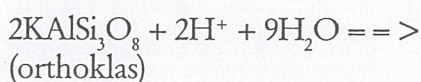
setelah dekalsifikasi dibandingkan neoformasi. Sebaliknya pada tanah merah lebih bersifat neoformasi dan dekalsifikasi. Proses pewarisan pada tanah hitam dapat digambarkan secara sederhana dengan reaksi pelarutan batugamping yang bersifat menyeluruh sebagai berikut :



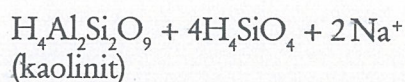
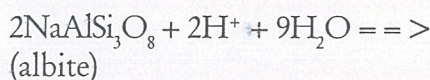
Reaksi tersebut jelas tidak menghasilkan tanah/ lempung karena baik ion kalsium maupun bikarbonat yang larut air akan hilang/ terlindi dan ion kalsium tersebut bukan kerangka tanah sebagaimana ion Si dan Al. Dengan demikian tanah hitam di atas napal akan mewarisi sifat lempung yang terdapat pada batuan setelah bahan karbonatnya larut. Tanah hitam mengandung lempung kaolinit dalam jumlah yang cukup signifikan, hal ini sangat menarik untuk dikaji lebih jauh. Kaolinit tersebut bukan hasil pewarisan sebagaimana smektit karena tidak terdapat dalam batuan napal. Lempung kaolinit diduga terbentuk dari hasil rekombinasi pelapukan mineral silikat. Secara sederhana reaksi pembentukan lempung dapat dilukiskan sebagai berikut.



Pembentukan kaolinit di tanah merah dari mineral silikat khususnya dapat dilukiskan sebagai berikut :

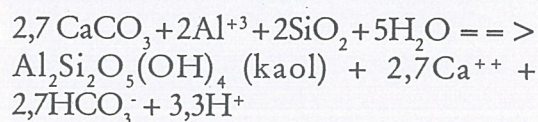
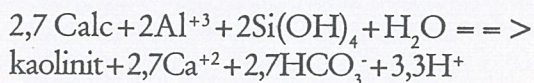


(Bohn *dkk.*, 1979; Birkeland, 1983)



(Birkeland, 1983)

Merino dan Banerjee (2008) berpendapat tentang pembentukan kaolinit tanah merah (Terra Rossa) di lingkungan batugamping dengan mekanisme sebagai berikut:



Reaksi tersebut didahului oleh Al dan Si larut air (hasil pelapukan mineral silikat) non gamping yang menuju kalsit untuk membentuk lempung kaolinit. Kaolinit ditemukan sebagai fase mineral lempung pedogenik utama dalam Terra Rossa dari Istria, Croatia (Durn, 2003).

Feng *et.al.* (2009) berpendapat bahwa asal dari mineral lempung, oksida dan hidroksida Fe, Mn kemungkinan berasal dari tiga sumber yakni:

1. Diturunkan dari bahan residu tak larut
2. Hasil alih rupa (*converted*) dari mineral primer dalam batuan (lempung, feldspar dan pirit)
3. Mineral *authigenic* dari zat-zat terlarut (mineral autigenik merupakan komponen utama Terra Rossa)

Dari berbagai mekanisme tersebut penulis berpendapat bahwa kaolinit berasal dari hasil rekombinasi mineral-mineral primer yang telah melapuk.

Mineral-mineral yang meliputi: hipersten, augit, hornblende, labradorit dan gelas vulkanik pada fraksi pasir tanah, diyakini sebagai mineral-mineral produk vulkanik. Permasalahannya adalah apakah mineral-mineral tersebut berumur Kuarter (setelah

terangkat) atau Tersier (saat genesis batuan karbonat tersebut). Hal ini masih perlu penelitian lebih lanjut. Pada lokasi yang berbeda, yakni di daerah Bedoyo, Sudiharjo (2002) mengatakan bahwa bahan induk tanah-tanah merah di kawasan tersebut juga dipengaruhi oleh material vulkanik. Teranalisisnya mineral kristobalit baik pada tanah hitam maupun merah mempertegas bahwa ada material vulkanik yang sampai di wilayah penelitian yang dapat berperan dalam menyumbang bahan induk tanah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Mineral lempung smektit khususnya monmorillonit dalam batugamping napalan dapat menghambat perkembangan tanah. Perkembangan tanah di kawasan batuan karbonat didahului oleh proses dekalsifikasi kemudian illuviasi. Kecepatan kedua proses tersebut sangat menentukan arah pembentukan tanah. Bila kedua proses terhambat akan terbentuk tanah hitam, dan sebaliknya bila kedua proses tersebut berjalan secara optimum akan mengarah ke pembentukan tanah merah. Persenyawaan besi khususnya yang bersifat kristalin sangat

berperan sebagai pigmen warna merah, sebaliknya untuk persenyawaan Mn akan menyebabkan warna hitam tanah. Konsekuensi proses pembentukan tanah yang relatif cepat akan segera menurunkan sifat-sifat kimia tanah khususnya pH, kation-kation tertukar, kejenuhan basa dan kapasitas penukaran kation tanah. Klasifikasi tanah menurut Soil Taksonomi (1998) pada tanah hitam adalah Leptic Haplusterts, clay, smectitic, isohypertermic, Duwet. Klasifikasi untuk tanah merah adalah Typic Haplustalfs, clay, kaolinitic, isohypertermic, Karangrejek. Bahan induk tanah hitam sangat dipengaruhi oleh kandungan lempung pada napal, sedangkan tanah merah diduga oleh rekombinasi hasil pelapukan mineral-mineral primer baik dari residu batugamping maupun material vulkanik yang sampai di kawasan penelitian.

Saran

Perlu ada penelitian lanjutan khususnya sumber bahan induk yang masih menjadi kontroversi para ahli, serta mekanisme terbentuknya tanah-tanah di kawasan karbonat Gunungkidul, terutama difokuskan pada batas antara tanah dan batuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Birkeland, Peter W. (1984). *Soil and Geomorphology*. Oxford University Press, New York, Oxford. 372 p.
- Blakemore, L.C., P.L. Searle, and B.K. Daly. (1987). *Methods for Chemical Analysis of Soils*. NZ Soils Bureau Lower Hutt, New Zealand, 103 p.
- Bohn, H.L., Brian L. McNeal, and George O'Connor. (1979). *Soil Chemistry*. A Wiley Interscience Publication. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 392 p.
- Durn, G., D. Slovenec., and M. Covic. (2001). Distribution of Iron and Manganese in Terra Rosa from Istria and Its Genetic Implications. *hrcak.srce.hr/file/6358*. [24-10-1011].

- Durn, G. (2003). The Terra Rossa in the Mediterranean Region: Parent Materials, Composition and Origin. *hrca.hr/file/6257*. [27-10-2011].
- Foster, J., D.J. Chittleborough, and K. Barovich. (2004). Genesis of Terra Rossa over Marble and the Influence of a neighbouring texture Contrast Soil at Delamere, South Australia. 3rd Australian New Zealand Soil Conference, 5 – 9 Desember 2004. University of Sydney, Australia. http://www.regional.org.au/au/asssi/supersoil2004/s11/poster/1607_fosterj.htm. [25-10-2011]
- Feng, J.L., Z.J. Cui and L.P. Zhu. (2009). Origin of Terra Rossa Over Dolomite on the Yunnan-Guizhou Plateau, China. *Geochemical Journal* Vol 43 (151-166). www.terrapub.co.jp/journals/GJ/pdf/4303/43030151.pdf [28-10-2011].
- Fedoroff. (1997). Clay Illuviation in Red Mediteranean Soils. *Jurnal Catena* Vol 26 :171-189.
- Jenny, H. (1980). *The Soil Resource. Origin and Behavior*. Springer – Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 377 p.
- Khan, D.H. (1959). Clay Mineral Ditribution in Some Rendzinas, Red Brown Soils, and Terra Rossas on Limestone of Different Geological Ages. *J. Soil Sci.* 2 : 321-319.
- Levine, S.J., D.M. Hendricks, and J.F. Schreiber, Jr. (1989). Effect of Bedrock Porosity on Soils Formed from Dolomitic Limestone Residium and Eolian Deposition. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 53:856-862.
- Merino, E. and A. Banerjee. (2008). Terra Rossa Genesis, Implications for Karst, and Eolian Dust: A Geodynamic Thread. *The Journal of Geology* Vol 116: 62-75.
- Mulyanto, D., D. Shiddieq, dan Indrayana. (2000). Mengaji Asal Bahan Andik pada Pedon Gunung Gatel Wilayah Karst Bukitseribu Gunung Kidul. *Prosiding Konggres Nasional HITI VII*, Bandung 2 – 4 November 1999.
- Mulyanto, D., M. Nurcholis, and Triyanto. (2001). Mineralogi Vertisol dari Bahan Induk Tuf, Napal dan Batupasir. *Jurnal Tanah dan Air*. Vol 2 No.1: 38 – 46.
- Mulyanto, D., T. Notohadikusumo, dan BH Sunarminto. (2005). Peran Porositas Sekunder Batugamping dalam Genesis Tanah-Tanah Merah di Kawasan Karst Gunungsewu. *Jurnal Agrin* Vol 9 No. 2: 101-109.
- Mulyanto, D., T. Notohadikusumo, B.H. Sunarminto. (2006). Hubungan Tingkat Pemerahan Tanah di Atas Batuan Karbonat dengan Komponen-Komponen Pembentuknya. *Jurnal Habitat* Vol. 17 No.3 : 235-245.
- Mulyanto dan Surono. (2009). Pengaruh Topografi dan Kesarangan Batuan Karbonat terhadap Warna Tanah pada Jalur Baron-Wonosari Kabupaten Gunungkidul, DIY. *Forum Geografi*. Vol 23, No 2: 181-195.
- Notohadiprawiro, T. (2000). *Tanah dan Lingkungan*. Pusat Studi Sumber Daya Lahan UGM, 187 hal.

- Ogunsola, O.A., J.A. Omuetti, O. Olade, and E.J. Udo. (1989). Free Oxide Status and Distribution in Soils Overlying Limestone Areas in Nigeria. *Soil Sci.* Vol 147. No.4:245-251.
- Pettijohn, F.J. (1975). *Sedimentary Rocks*. Second Edition. Harper & Brothers, New York, 628 p.
- Prasetya, B.H., Sawiyo, dan N. Suharta. (1998). Pengaruh Bahan Induk terhadap sifat Kimia Tanah dan Komposisi mineralnya : Studi Kasus di Daerah Pametikarata. Lewa, Sumba Timur. *Proc.Penelitian Tanah*. 14:17-30.
- Prasetyo, B.H. (2009). Karakteristik Tanah-Tanah dari Batugamping dan Napal di Daerah Beriklim Kering. *Jurnal tanah dan air*. Vol 10 No. 1:73-84.
- Rahardjo, W. (2005). Geologi dan Sumberdaya Daerah Karst. *Makalah yang Disampaikan pada Seminar Nasional di Unsoed, tanggal 6 – 7 Agustus 2005*.
- Schaetzl, R.J., William E. Frederick, and L. Tornes. (1996). Secondary Carbonates in Three Fine and Fine – loamy Alfisols in Michigan. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 60:1862-1870.
- Soil Survey Staff. (1998). *Keys to Soil Taxonomy*. 8 th edition. Natural Resources Conservation Service. USDA. 326 p.
- Steila, D. (1976). *The Geography of Soils. Formation, Distribution, and Management*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey, 222 p.
- Sudihardjo, A.M. (2002). Phenomena and Environment of Karst Area on Andisolization of Soils in Gunung Kidul, Yogyakarta Special Province. *J. Tanah dan Air* Vol 3 No. 2.
- Surono, Toha, B. dan Sudarno, I. (1992). *Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Jawa, Sekala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Surono. (2005). Sejarah Aliran Bengawan Solo : Hubungannya dengan Cekungan Baturetno, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah. *Publikasi Ilmiah Pendidikan dan Pelatihan Geologi. Vol I, No. 2, Des. 2005*.
- Schwertmann, U. and D.S. Fanning. (1976). Iron – Manganese Concretions in Hydrosequences of Soils in Bavaria. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 40:731-738.
- Tarzi, J.G. and R.C. Paeth. (1974). Genesis of Mediteranean Red and a White Rendzina Soil from Lebanon. *Soil Sci.* Vol 120 No. 4
- Wambeke, A.V. (1992). *Soil of the Tropics. Properties and Appraisal*. McGraw Hill, Inc., New York.
- White, W.B. (1988). *Geomorphology and Hidrology of Karst Terrains*. Oxford University Press. New York, 406 p.
- Wooding, G. and Robinson. (1951). *Soils. Their Origin, Constitution and Classification. An Introduction to Pedology*. The Woodbridge Press, L.T.D. Oslow Street, Guildford, 573 p.
- Yaalon, DH. (1997). Soil in the Mediteranean Region: What Make Them Different?. *Jurnal Catena* 28:157-169.